

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-261642

(43) 公開日 平成7年(1995)10月13日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 3 H 1/02
C 0 1 G 33/00
G 0 3 C 1/725
G 0 3 H 1/04
1/22

A

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平6-51537

(22) 出願日 平成6年(1994)3月23日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72) 発明者 八木 生剛

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 杉山 泰之

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 畠山 巖

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

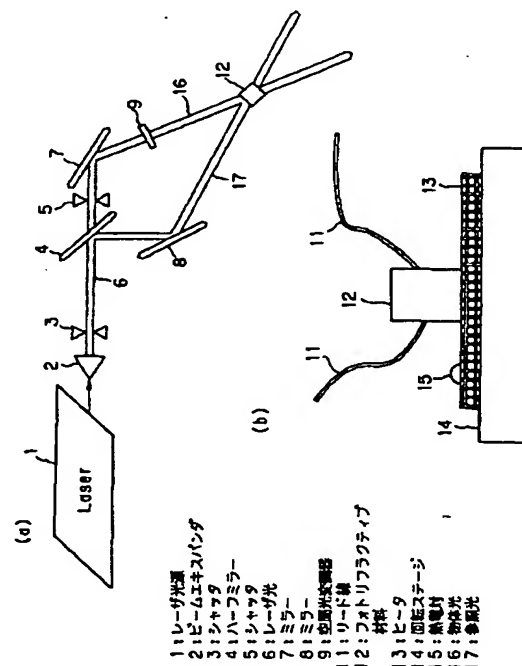
(74) 代理人 弁理士 光石 俊郎 (外1名)

(54) 【発明の名称】 ホログラム記録再生方法

(57) 【要約】

【目的】 暗所で保存してもホログラムが消失することなく、回折効率が様々な要因から制限をうけないようにすることを目的とする。

【構成】 強誘電体材料のうち、光照射によって屈折率に変化する材料を記録媒体12として用いるホログラム記録再生方法において、ホログラムを記録する時に記録媒体の温度を、当該材料の強誘電体・常誘電体相転移温度を越えない程度に上げるものである。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 強誘電体材料のうち、光照射によって屈折率が変化する材料を記録媒体として用いるホログラム記録再生方法において、ホログラムを記録する時に記録媒体の温度を、当該材料の強誘電体・常誘電体相転移温度を越えない程度に上げることを特徴とするホログラム記録再生方法。

【請求項 2】 請求項 1 において、記録されたホログラムを、記録した温度以下の温度で再生することを特徴とするホログラム記録再生方法。

【請求項 3】 請求項 1 又は 2 において、前記記録媒体の熱膨張係数が正の場合には記録時に圧力を付与し、前記記録媒体の熱膨張係数が負の場合には再生時に圧力を付与することを特徴とするホログラム記録再生方法。

【請求項 4】 請求項 1 又は 2 において、記録時と再生時の照射光の波長が異なることを特徴とするホログラム記録再生方法。

【請求項 5】 請求項 1 又は 2 において、記録時と異なる入射角度で再生時の光を照射することを特徴とするホログラム記録再生方法。

【請求項 6】 請求項 1, 2, 3, 4 又は 5 において、前記記録媒体として、ストロンチウム・バリウムニオブ酸 ($\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$, $0 < x < 1$) を用いることを特徴とするホログラム記録再生方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、ホログラム記録再生方法に関する。詳しくは、光の干渉縞と相似な屈折率分布を形成するフォトリフラクティブ結晶を用いた実時間ホログラフィ技術に関するもので、同一素子中に複数のホログラムを記録再生する体積多重ホログラム装置に適用可能なものである。

【0002】

【従来の技術】 レーザ等の光源を用い、物体による散乱光（物体光或いは信号光）と同じ光源からの非散乱光（参照光或いはポンプ光）とを干渉させ、その干渉縞を光記録可能な写真乾板等の記録媒体に記録し、また、再生時には記録された干渉縞に参照光のみを照射し、物体による散乱光を再現する技術はホログラフィ技術と呼ばれる。

【0003】 ここで、記録媒体の奥行きが記録光の波長に比べて十分長い時、同一媒体内に複数のホログラムを記録することが可能である。この技術は体積多重ホログラフィと呼ばれ、フォトリフラクティブ材料と呼ばれる、ある種の誘電体は、光を照射することで屈折率を変化させるので、体積多重ホログラフィ用の記録媒体として用いられる。

【0004】 このフォトリフラクティブ材料では、光照射によって材料中に電子若しくは正孔が励起され、引続き材料中を移動し、光の干渉縞と同じパターン電荷分

2

布が形成される。電荷分布は、電場分布をもたらし、電気光学効果によって、材料中に屈折率分布が形成される。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 上述したフォトリフラクティブ材料は、電子若しくは正孔が光によってのみ励起されるのではなく、僅かながら温度による励起も受けるため、暗所に保存しておいても、徐々に電荷分布が消失する、つまり、記録していたホログラムが消えていくという欠点がある。

【0006】 また、ホログラムの書き込みでは、物体光と参照光の強度比が等しいときに最も回折効率が高くなるが、通常のフォトリフラクティブ材料では、光の干渉縞と屈折率分布による縞とが位相ずれを持っており、ホログラムの書き込み中に、物体光と参照光の間でエネルギー交換が起こる。このため、物体光／参照光の強度比が変化し、回折効果が下がってしまうという欠点があった。

【0007】 更に、実現できる屈折率変化の大きさは、材料の電気光学的定数、不純物濃度、物体光と参照光のなす角度等によって制限されていた。本発明は、上記従来技術に鑑みてなされたものであり、暗所で保存してもホログラムが消失することなく、回折効率が様々な要因から制限をうけないようにすることを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】 斯かる目的を達成する本発明は強誘電体材料のうち、光照射によって屈折率が変化する材料を記録媒体として用いるホログラム記録再生方法において、ホログラムを書き込む時に記録媒体の温度を、当該材料の強誘電体・常誘電体相転移温度を越えない程度に上げることを特徴とする。ここで、ホログラムを再生するときの温度を、記録した温度以下の温度とし、また、前記記録媒体の熱膨張係数が正の場合には記録時に圧力を付与し、前記記録媒体の熱膨張係数が負の場合には再生時に圧力を付与することを特徴とする。

【0009】 また、記録時と再生時の照射光の波長が異なること、記録時と異なる入射角度で再生時の光を照射することを特徴とする。更に、前記記録媒体として、例えば、ストロンチウム・バリウムニオブ酸 ($\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$, $0 < x < 1$) を用いることを特徴とする。

【0010】

【作用】 一部の強誘電性のフォトリフラクティブ結晶は、高温でホログラムを記録して低温で再生すると、回折効率が増大する。その原因は未解明であるが、相転移温度近傍でホログラムを記録すると、干渉縞と同じピッチで自発分極が反転してドメインが生じ、温度を下げるとドメインが成長し、回折効率の増大が生じるのではないかと推察している。

【0011】 この自発分極反転ドメインは、通常のフォトリフラクティブ効果に見られる電荷移動が原因ではな

3

く、熱力学的に安定な自発分極をその起源にしているため、暗所においておけば、ホログラムの消失は起きない。ここで、フォトリフラクティブ材料は記録時と再生時に温度が変化する為、熱収縮若しくは熱膨張を生じ、ブラッグ条件が変化する。

【0012】ここにいうブラッグ条件とは、記録材料中において、参照光の波数ベクトル、物体光（再生時には回折光）の波数ベクトル及び屈折率分布グレーティングの波数ベクトルが、次式で示す関係式を満たすことである。このブラッグ条件から外れると、回折効率は減少し、若しくは、零となる。

【0013】

【数1】

$$\vec{k}_r - \vec{k}_o = \pm \vec{K}$$

ただし

\vec{k}_r : 参照光の波数ベクトル

\vec{k}_o : 物体光(再生時には回折光)の波数ベクトル

\vec{K} : 屈折率分布グレーティングの波数ベクトル

$$\vec{K}_{\text{read}} = \vec{K}(1 + \alpha(T_{\text{read}} - T_{\text{write}}))$$

ただし

\vec{K}_{read} : 再生時の屈折率分布グレーティングの波数ベクトル

【0016】従って、記録時のブラッグ条件は、再生時には満たされないことになる。請求項3、4、5の発明は、このブラッグミスマッチの補正を目的としたものである。請求項3に記載される発明は、フォトリフラクティブ材料に圧力を加え、熱膨張及び熱収縮を弾性歪で補償する方法である。

【0017】請求項4に記載される発明は、記録時と再生時の照射光の波長を変えることにより、ブラッグミスマッチを補償する方法で、 $\Delta\lambda = \alpha\lambda\Delta T$ なる波長変化によって、波数は次式で示されるように変化する。

$$(\Delta k/k) = \alpha\Delta T$$

この為、 $K \rightarrow K(1 + \alpha\Delta T)$ となり、新たなブラッグ条件が成立する。

【0018】請求項5に記載される発明は、参照光の入射方向を変える方法であり、新たな再生光と回折光のなす角度を $2\theta + 2\Delta\theta$ とし、 $\Delta\theta = \alpha\Delta T \tan\theta$ とすると、次式が成り立ち、ここでも新たなブラッグ条件が成立する。

$$K = k_o - k_r = 2k \sin(\theta + \Delta\theta) = 2k(\sin\theta \cos\Delta\theta + \cos\theta \sin\Delta\theta)$$

$$\approx 2k \sin\theta (1 + \alpha\Delta T) = K(1 + \alpha\Delta T)$$

【0019】

【実施例】以下、図面に示す実施例を参照して詳細に説明する。本発明の基本的構成に係る一実施例を図1に示す。本実施例は、ホログラム記録時に記録媒体であるフォトリフラクティブ材料の温度を、当該材料の強誘電体・常誘電体相転移温度付近まで上昇させた状態でホログ

4

*【0014】高温で記録した屈折率分布は、再生時に温度を下げるにつれて、結晶の伸び縮みと同じ倍率で、ピッチを変える。このため、屈折率分布グレーティングに沿う方向の線膨張係数を α としたときの再生時の屈折率分布グレーティングの波数ベクトルは、次式で示される。

【0015】

【数2】

ラムを記録し、温度を下げて再生するものである。

【0020】図1(a)に示すように、レーザ光源1から出射されたレーザ光6はビームエキスパンダ2で空間光変調器9と同程度の大きさに広がり、シャッタ3を通過した後、ハーフミラー4で物体光16と参照光17とに分岐される。物体光16と参照光17はそれぞれミラー7、8で反射されて、記録媒体12であるフォトリフラクティブ材料に照射できるように調整される。更に、物体光16はミラー7で反射される前にシャッタ5を通過し、ミラー7で反射された後、空間変調器9を通過する際に情報を付与される。

【0021】記録媒体12は、図1(b)に示すように、温度を制御できるように設置されている。即ち、回転ステージ14上にヒータ13が配置されると共に、ヒータ13上に記録媒体12が配置され、更に、ヒータ13には熱電対15が取り付けられている。従って、ヒータ13に通電することにより、記録媒体12を所定の温度まで加熱することができ、そのときの温度は熱電対15でモニタされる構成となっている。

【0022】また、回転ステージ14を回転させることにより、記録媒体12に対し、記録時と異なる入射角度で再生時の光を照射することができる。記録媒体12には、ポーリングのために、リード線11が接続されている。記録媒体12としては、従来から使用されているフォトリフラクティブ材料、例えば、 BaTiO_3 、 LiNbO_3 の他、ストロンチウム・バリウムニオブ酸($\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$, $0 < x < 1$)も用いることができる。

5

【0023】リード線11及び回転ステージ14は、フォトリフラクティブ材料のポーリング及び請求項5の発明に関するものであり、請求項1, 2, 3, 4の発明については必ずしも必要ではない。

【0024】上述した本実施例において、ホログラムの記録再生は次のようにして行う。まず、ヒータ13によって記録媒体12の温度を、当該材料の強誘電体・常誘電体相転移温度を越えない温度まで上げ、更に、その温度が一定となるように保持する。次に、シャッタ3及びシャッタ5を開け、且つ、空間変調器9によって所望の情報を物体光16に付与し、物体光16と参照光17とを同時に記録媒体12に露光する。

【0025】十分な時間露光したのち、シャッタ3及びシャッタ5を閉じ、引き続いて、ヒータ13を切り、温度を室温まで下げる。その後、温度が落ちついてきたところで、シャッタ3を開け、ホログラムを再生する。再生時の温度は、記録時の温度以下であれば、特にその下限は認められない。つまり、再生時の温度は、記録時の温度以下で、且つ、絶対零度以上の温度範囲とすることができる。

【0026】但し、結晶の種類によっては、低温に行くと従って、新たな相転移を示すものがあり（例えば、 BaTiO_3 , $\text{KNb}_x\text{Ta}_{1-x}\text{O}_3$ ）、このような場合には、記録した温度での相と同じ相を示す温度範囲に限られる。

【0027】このように記録時と再生時とで温度が異なることから、熱膨張或いは熱収縮によって、記録された干渉縞のピッチが再生時に変化し、最適な回折効率が得られない懸念がある。特に、記録温度と再生温度の温度差が大きいほど、その傾向は甚だしくなる。そこで、ブラッグミスマッチを補正するためには、例えば、次の実施例に示すような方策を採ることができる。

【0028】図2(a)(b)に本発明の他の実施例を示す。本実施例は、記録媒体である記録媒体25に、物体光21と参照光22の波数ベクトルの差、つまり、干渉縞のグレーティングベクトルに沿う方向に圧力を加えることにより、記録時と再生時の温度差に基づく熱収縮又は熱膨張を低減させるものである。即ち、ステージ23上にはヒータ24が配置されると共に、ヒータ24上に記録媒体25が配置され、更に、ヒータ24には熱電対26が取り付けられている。

【0029】ヒータ24上には、記録媒体25を挟み込む万力27が配置され、記録媒体25に対し、グレーティングベクトルに沿う方向に圧力を加えることができるようになっている。ここで、記録媒体25のグレーティングベクトルに沿う方向の熱膨張係数が正の場合には、記録時に万力27により圧力を付与し、再生時には圧力を抜く。逆に、記録媒体25のグレーティングベクトルに沿う方向の熱膨張係数が負の場合には、記録時には圧力をかけず、再生時には万力27により圧力を付与す

6

る。

【0030】尚、圧力を加える方向は必ずしもグレーティングベクトルに沿う方向でなくても良く、例えば、記録媒体25をヒータ24に押し付ける方向でも良い。そのときには、記録媒体25のグレーティングベクトルに沿う方向の熱膨張係数が正の場合には、記録時には圧力をかけず、再生時には圧力を付与し、逆に、記録媒体25のグレーティングベクトルに沿う方向の熱膨張係数が負の場合には、記録時には圧力を付与し、再生時には圧力を抜く。

【0031】また、記録媒体25に加えるべき圧力の大きさは、記録媒体25の熱膨張係数 α 、弾性率 ϵ 及びボアソン比 σ に左右されるので、各記録媒体で最適圧力は異なるが、要するに、グレーティングベクトルに沿う方向の記録媒体の伸縮を極力小さくするようにすると良い。

【0032】例えば、温度差 ΔT として、グレーティングベクトルに沿う方向に圧力をかける場合には、次式を満たすように圧力 P を付与すると良い。

$$|\alpha \Delta T| = |\epsilon p|$$

また、グレーティングベクトルに直交する方向に圧力をかける場合には、次式を満たすように圧力 P を付与すると良い。

$$|\alpha \Delta T| = |\sigma \epsilon p|$$

【0033】上記実施例では、記録媒体に圧力を加えていたが、これに代えて、再生時の波長を、ブラッグ条件を満たすように記録時と変えるようにしても良い。即ち、図1に示すレーザ光源1として波長可変レーザを用いる方法である。記録媒体12のグレーティングベクトルに沿う方向の熱膨張係数が正の場合には、記録時の波長よりも再生時の波長を長くし、逆に、記録媒体25のグレーティングベクトルに沿う方向の熱膨張係数が負の場合には、記録時の波長よりも再生時の波長を短く設定する。即ち、記録時の波長 λ として、波長の変化量 $\Delta \lambda$ が下式を満足するように、波長を変化させる。

$$\Delta \lambda = \alpha \lambda \Delta T$$

【0034】更に、記録媒体への圧力、記録時と再生時での波長の変化に代えて、再生時の参照光の記録媒体への入射角度を変えるようにしても良い。即ち、記録時の物体光16と参照光17のなす角度を 2θ とすると、図1に示す回転ステージ14を $\alpha \Delta T \tan \theta$ （ラジアン）だけ回転させて、ブラッグ条件を満足するようにすると良い。回転方向は、記録媒体12のグレーティングベクトルに沿う方向の熱膨張係数が正の場合には、図1において紙面からみて反時計方向に、逆に、記録媒体12のグレーティングベクトルに沿う方向の熱膨張係数が負の場合には、図1において紙面からみて時計方向にすると良い。尚、本発明方法が適用できるのが確認されているのは、全てのフォトリフラクティブ材料ではなく、低温で回折効率の増大をもたらす一部の結晶である。

【0035】次に、本発明の具体的実施例について説明する。

【実施例1】図3(a)に示すようにArイオンレーザ30から出射されたレーザ光はスペシャルフィルタ31を通過した後、偏光ビームスプリッタ32で物体光39と参照光38とに分岐される。物体光39と参照光38はそれぞれシャッタ33、34を通過した後、ミラー35、36で反射されて、記録媒体42であるフォトリフ

ラクティブ材料に照射できるように調整される。更に、参照光38は、ミラー36で反射された後、半波長板37を通過する。

【0036】記録媒体42は、図3(b)に示すように、温度を制御できるように設置されている。即ち、回転ステージ44上にペルチェ素子45が配置されると共に、ペルチェ素子45上に記録媒体42が配置され、更に、ペルチェ素子45には銅コンスタンタン熱電対45

が取り付けられている。従って、ペルチェ素子45に通電することにより、記録媒体42を所定の温度まで加熱することができ、そのときの温度は銅コンスタンタン熱電対45でモニタされる構成となっている。

【0037】また、回転ステージ44を回転させることにより、記録媒体42に対し、記録時と異なる入射角度で再生時の光を照射することができる。記録媒体42には、ポーリングのために、リード線41が接続されている。本実施例では、記録媒体42としてストロンチウム・バリウムニオブ酸($\text{Sr}_{0.6}\text{Ba}_{0.4}\text{Nb}_2\text{O}_6$ 、以下、単

に、SBNと省略する)の単結晶を用いた。この単結晶は、結晶引き上げ時に、1モルのSBNに対して、二酸化セリウム(CeO_2)を重量比で0.05%ドーピングして作製した。この単結晶の大きさは、3.94mm×2.65mm×2.93mmであり、2.93mmが結晶のc軸方向である。

【0038】上述した構成を有する本実施例において、ホログラムの記録再生は次のように行う。まず、記録媒体42である単結晶をポーリングするため、c面、即ち、3.94mm×2.65mmの両面に金を20nm蒸着し、温度を摂氏95度まで上げる。次に、記録媒体42の金を蒸着した両面に1.5kvを印加し、30分かけて徐々に温度を室温まで冷却する。その後、電圧を0vまで下げて、ポーリングを終了する。

【0039】引続き、温度を摂氏60度まで上げ、温度の揺らぎが0.1度以下となるまで安定化させ、参照光38を128μmで、物体光39を82μmWで、3.94mm×2.65mmの入射面をちょうど覆うように3分間照射した。ここで、参照光38と物体光39のなす角度は、6.3度、波長はアルゴンイオンレーザ30による514.5nm、物体光38と物体光39の偏波(光の電場の振動方向)は偏光ビームスプリッタ32と半波長板37を用いて参照光38と物体光39を含む面内(紙面内)にあるようにした。

【0040】図4に、徐々に温度を下げていった時の回

折効率の温度変化を示す。同図中、○印は、本実施例において実際に測定された回折効率を示し、●印は熱膨張によるブラッグミスマッチを補正したときの回折効率の理論的予想を示す。同図中、×印は、比較の為に摂氏20度でホログラムを記録したときの回折効率を示す従来例である。

【0041】図4に示すように、記録媒体であるCeドーピングSBN単結晶を高温に保持してホログラムを記録する本実施例は、低温で記録した従来例に比較し、回折効率が増大することが確かめられると共に、ブラッグミスマッチを補正すると更に回折効率が増大することが判る。更に、このようにして書き込んだホログラムは、暗所で摂氏60度に数時間保持しても、全く回折効率の現象が見られなかった。これは、室温では、半永久的な保存寿命を意味する。

【0042】【実施例2】本実施例では、図3に示す実施例1の要領で、摂氏20度でホログラムを書き込んでおき、当該温度において6%の回折効率を得た後、冷却して温度を20度に保持した。その後、ステージ44を、図3(a)の紙面の上から見て、反時計回りに0.002度回転させることで、回折効率を11%から18%に増大した。

【0043】このホログラムは、室温で暗所に数日間保存した後においても、回折効率の変化は全く認められなかった。従来の方法であれば、SBN:Ceは、摂氏20度であれば、1日でも有意義な減少がみられることから、本発明によるホログラムの保存寿命の延長効果が確かめられた。

【0044】

【発明の効果】以上、実施例に基づいて具体的に説明したように、本発明は高温でホログラムを記録し、低温で再生することで、回折効率を増大させるという効果が得られた。更に、熱膨張によるブラッグミスマッチを補正することにより、回折効率を一層増大させることができる。また、ホログラムの保存寿命もほぼ半永久的に延ばすことが可能となった。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の基本的構成に係る実施例を示す説明図である。

【図2】本発明の他の実施例を示す説明図である。

【図3】本発明の具体的構成に係る実施例1を示す説明図である。

【図4】実施例1に係る温度変化に対応した回折効率を示すグラフである。

【符号の説明】

- 1 レーザ光源
- 2 ビームスプリッタ
- 3, 5, 33, 34 シャッタ
- 4 ハーフミラー
- 6 レーザ光

9

7, 8, 35, 36 ミラー

9 空間光変調器

11, 41 リード線

12, 25 記録媒体 (フォトリフラクティブ材料)

13, 24 ヒータ

14, 23, 44 回転ステージ

15, 26 熱電対

16, 21, 39 物体光

* 17, 22, 38 参照光

27 万力

30 Arイオンレーザ

31 スペシャルフィルタ

32 偏光ビームスプリッタ

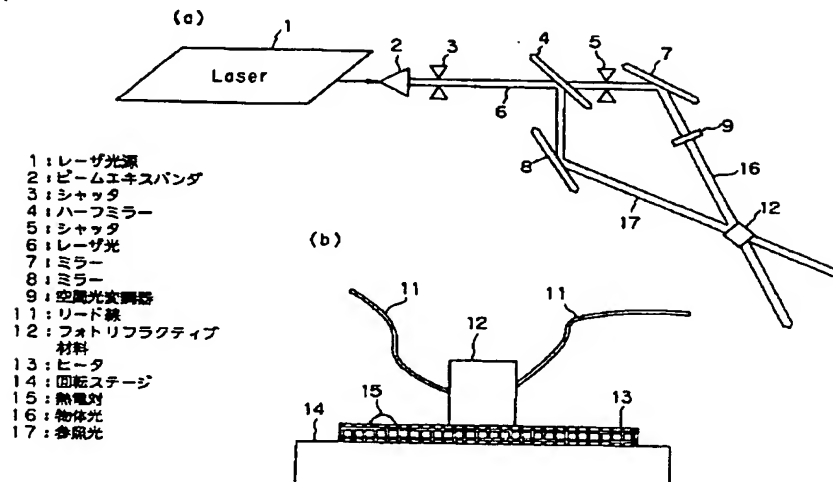
37 半波長板

42 CeドープSBN

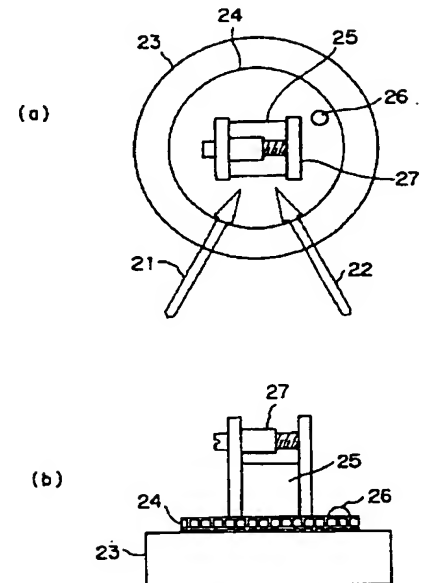
* 45 ペルチェ素子

10

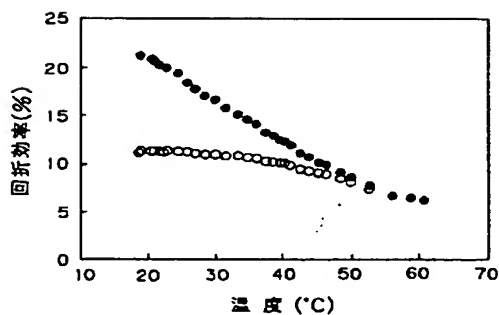
【図1】



【図2】



【図4】



- 請求項1,2,6による方法での回折効率の増大
- 請求項3,4,5による方法で理想的にブラッグミスマッチを修正したときの回折効率の理論値
- × 従来技術による回折効率

【図 3】

